

イグサハーベスタにおける ファジィ操向制御の省力効果

藤木 徳実*・松本 一昭*・内田 進*・稲葉 繁樹*

(生産情報科学講座)

平成4年11月4日受理

Labor Saving Effect in Igusa Harvester by Fuzzy Auto Controller

Tokumi FUJIKI*, Kazuaki MATSUMOTO*, Susumu UCHIDA* and Shigeki INABA*

(Laboratory of Agricultural System Information and Technology)

Received November 4, 1992

Summary

Igusa is used for cover of tatami of goza-mat, which is like a bed or ornamental floor in Oriental countries. So igusa must be straight quite for making the fine and clean mat.

Fuzzy Auto Steering Controller has been developed for a harvester to produce fine igusa without troublesome operation. We investigated effects of the Fuzzy controller in the igusa harvester.

We tried to measure operator's exhaustion by the harvesting work.

We adopted relative metabolic rate (RMR) for strength of the labor. We measured respondent time to momentary display, flicker frequency and Uchida-Kraepelin test for mental exhaustion of operators.

RMR for the fuzzy control harvester was 1.2~1.7, and it was 0.4~0.6 smaller than that of the manual machine.

Respondent time and flicker frequency did not always show operator's exhaustion.

In the Uchida-Kraepelin test, rest effect was thought to be suitable as an index of mental exhaustion.

I 緒 言

畳表に使われるイグサの最近の供給状態を調べると、特にこの10年間は中国、台湾、韓国から安価なイグサが大量に輸入されるようになり、低品質のイグサの価格が急落し、我が国では高品質イグサの栽培を志向せざる得なくなってきた。また、畳表に使われるイグサは、美観が第1で「折れ」、「曲がり」があってはならず、イグサ全体が商品であるところが他の農産物にない取扱いのむづかしさ、きびしさをもたらしめている。1991年のように春から夏にかけて天候が悪い時はイグサが細く、雨風で絡み合うため収穫には非常に気を使わなければならない。品

* 佐賀大学農学部 (〒840 佐賀市本庄町1番地)

* Saga University, Saga 840, Japan

質は日照に影響を受けるため、作業は早朝(午前4時頃)から刈取りを始め、太陽が登り始める8時過ぎには終わり、イグサが「みずみずしい」うちに収納しなければならないとされている。

イグサの収穫作業期は高温多湿の梅雨期に当り、仕事が厳しいこともあって後継者が少なく、い草農家が高齢化しており人手不足も深刻である。従ってイグサハーベスタは労力を軽減できること、運転が容易であること、だれが運転しても質が落ちることなく能率が高いことなどが要求されている。このような状況のなかで品質向上と労力軽減の両方の要求を満たしながら、運転作業を楽にするため農業機械で初めて、ファジィ制御による操向制御を採用したイグサハーベスタが開発された。本研究は、ファジィ制御が採用されたイグサハーベスタを用いて、精神的、肉体的疲労を測定し従来機構と比較し検討したものである³⁾。

表1 使用したハーベスタの主要諸元

| 機 種 | | | IG55 | | | |
|------------------|------------------------------|-----|--|---------|---------|---------|
| | | | 格納時 | | 作業時 | |
| 機 体 寸 法 | 全 長 (mm) | | 3370 | | 3610 | |
| | 全 高 (mm) | | 2330 | | | |
| | 全 幅 (mm) | | 1610 | | 1925 | |
| | 重 量 (kg) | | 790 | | | |
| 機 関 部 | 名 称 | | GH400-IG2 | | | |
| | 形 式 | | 空冷 4 サイクル OHV 横軸ガソリン機関 | | | |
| | 総 排 気 量 (cc) | | 389 | | | |
| 走 行 部 | 走 行 装 置 | | クローラ | | | |
| | 接 地 圧 (kgf/cm ²) | | 0.12 | | | |
| | 走行速度 | 前 進 | 1 速0.24 | 2 速0.35 | 3 速0.72 | 4 速1.62 |
| | (m/s) | 後 進 | 1 速0.58 2 速1.31 | | | |
| 操 作 部 | 操 向 操 作 方 式 | | パワーステアリングによる手動操作と自動 操向制御方式 (ファジィ制御) と切換可能 | | | |
| 刈 取 部 | 分 草 方 式 | | 高速回転振動 (2 速) | | | |
| | 刈 取 条 数 | | 2 条 | | | |
| | 挟 持 搬 送 方 式 | | スポンジベルト | | | |
| | すぐり (選別) 方式 | | 風力選別 | | | |
| | すぐり (選別) 長さ (cm) | | 87 | | | |
| 結 束 部 | 結束太さ (10kg束周長) | | 直径120~150mm無段調節 | | | |
| | 結 束 高 さ (mm) | | 根元から250 | | | |
| | 結 束 ヒ モ | | P P フィルム | | | |
| そ の 他 | 束 降 ろ し 装 置 | | ダンブとリフト装置 | | | |
| | 束の積載容量 (束) | | 50~60 | | | |
| | 能 率 (h / 10 a) | | 4 ~ 5 | | | |

II 供試機器及び測定方法

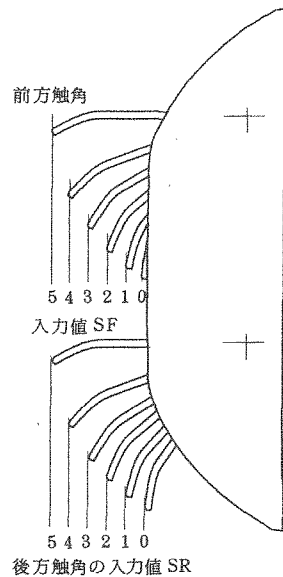
1. 供試機器の概要

本実験で使用したハーベスタは、K社の2条刈りのものでその仕様を表1に示した。本機の操向制御はボタン操作で手動と自動とに切換え可能である。

手動運転する場合は、曲がった条でも脱線することなく、確実に刈り取るように、オペレータがサイドクラッチをたえず操作し、しかも刈り取られたイグサの束をリフト台に積みあげる作業もしなければならない。そのために刈取り速度を落として作業しなければならないこともあり、能率の低下にもつながってくる。

これに対して自動運転の場合は、刈取ろうとする株列を前後2ヶ所に設置されたセンサーで感知し、ファジィルールに基づいて条にそって自動的に進むファジィ制御を利用できるようにしたものである。この他同機には、分草する機構として、従来のパイプ式弓状回転分草犁にかわりロータリー分草方式を採用し、さらに短い不慣用イグサを除去選別するすぐり選別装置として気体（風）を利用するすぐり方式を採用している。

ファジィ制御の原理は、まず図1のように2つのセンサーSFおよびSRによってイグサ列からの距離とイグサ列の曲りとを検知することから始まる。それぞれのセンサーの傾斜角に、6段階（0～5）の値を与えるもので、イグサから最も離れた時を5、最も接近した時を0とする。機体への出力条件は株とセンサーの関係位置により図2のように方向が制御される。すなわち機体と株との間隔つまり機体が株に近いかどうかは前後2本のセンサーの隔たりの平



機体と株列との傾斜角 θ は SF と SR の差
機体と株列との間隔 δ は SF と SR の平均から算出

図1 触角センサーの原理的働き

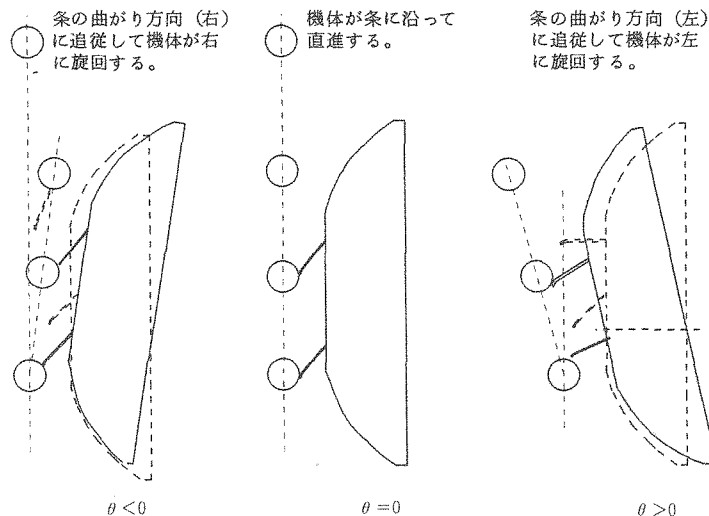


図2 株列とセンサーの関係位置と出力条件

均値ないし合計 λ ($\lambda = SF + SR$) で表現できる。その λ の目標値は6となるように操向制御されている。直進方向の操作ミスを示す機体の進行方向と株列の交差角は、2本のセンサーの隔たりの差 θ ($\theta = SF - SR$) によって検出される。交差角 θ の目標値は0で、機体と株列が平行になれば θ は0になる。

2. 測定方法

手動と自動操向制御とに切換えることによって、同一機体のもとで作業性(前方への注意が不要)、運転疲労、作業の快適性および作業能率がいかに改善されたかについて、以下の測定項目で比較した。

1) 労働の強さ

まず作業の強さを作業時間に関わらない「労働の強さ」で測定した。すなわち、労働の強さは労働科学研究所方式¹⁾により、人が出す呼気の分析を行い、エネルギー代謝率 (Relative Metabolic Rate = RMR) を測定した。被験者に22才と55才の男性(佐賀県三根町1991/7/2)を選び、自動操向作業と手動操向作業との違いを比較した。なお以下の文中において自動操向を「自動」、手動操向を「手動」と表現する。呼気量を測定するガス分析装置を図3に示した。

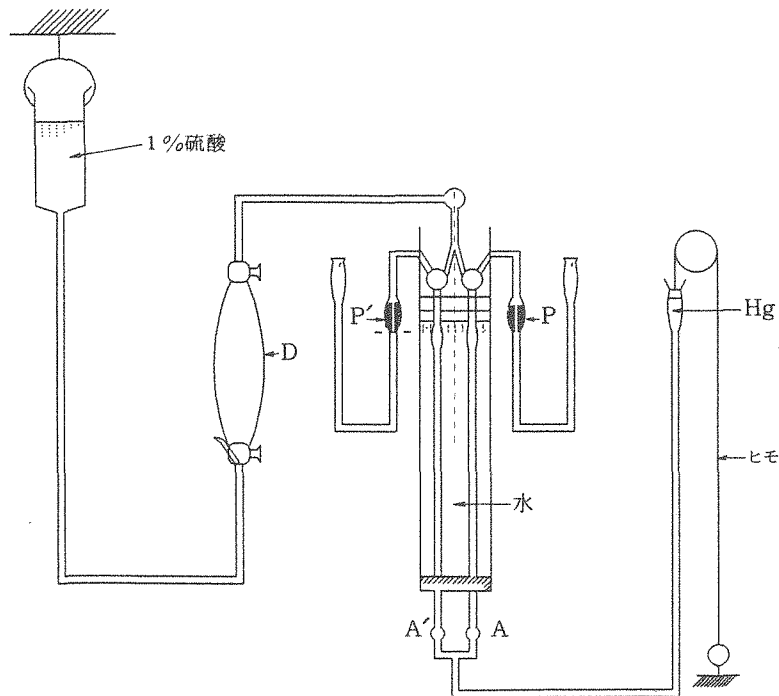


図3 呼気分析装置

RMRは、作業時と安静時の酸素消費量を求めることにより算出できる。

$$RMR = \frac{\text{作業時の酸素消費量} - \text{安静時の酸素消費量}}{\text{基礎代謝時の酸素消費量}} = \frac{\text{労働代謝値}}{\text{基礎代謝値}}$$

酸素消費量はガス分析により求めた吸気中酸素ガスと二酸化炭素ガスから算出した。基礎代謝時の酸素消費量は体重と身長から求めた¹⁾。

呼気の採取は、安静時と「自動」運転と「手動」運転の作業中と快復時に行った。各々の作

業時間は5分間づつであり両作業の間には十分に休憩時間を置き、後の作業に影響しないようにした。

2) 疲労の大きさ

疲労には肉体的疲労、精神的疲労があるが、ここではフリッカー値測定、刺激に対する反応時間測定、ならびにクレペリンテストにより行った。

疲労の大きさは、2時間の連続作業によって、「自動」及び「手動」の両作業について比較した。RMRと異なり年齢による影響があると考えられるので、61才と29才の男性(熊本県千丁町1991/7/4)を被験者とした。

① フリッカー値測定

フリッカー値は元来精神的疲労の尺度として使われてきたものである。数十Hzで明暗点滅を繰返す小孔を眼で注視し、最初点滅していないかのように明るく見えていた小孔が点滅し始める時期を読み取るものである。疲労が大きければ点滅がゆっくりになっても認識しにくくなる性質を利用して、目覚め、酔い、気力、運動能力及び興奮の度合をフリッカー値で比較できるとされている。

② 反応時間測定

次に反応時間測定はパソコンのグラフィック画面に高さ約5cmのABCDEの文字を描かせ、そのうちのAとBとの順逆を判断させて、2種類のボタンを押させた。表示された文字が視神経、大脳、手の筋肉等を通ってくるまでの時間によって疲労度を表現した。つまりボタンを押すにしても指先だけの反射神経の測定でなく、中枢神経の判断を伴うように考慮した。なお、文字を表示する時間間隔と文字順序はランダムになるようにプログラムを作成し、反応時間もプログラムによってカウントし、データをファイルに記録した。

3) クレペリン内田精神作業検査²⁾

クレペリン精神作業検査は、精神作業のやり方、つまり「仕事のしぶり」の現れた曲線を量的・質的に分析することによって、パーソナリティの特性を推定する手段として使用される。ここでは、作業前後の精神的、肉体的疲労を測定するために利用した。

クレペリンテスト用紙は、一行に115文字の数字が並び、それが34行印刷されている。被験者は、この横に並んでいる数字を加算し、下1桁の数字を書いていくものである。この作業を1分ごとに行をかえていって、15行繰り返し、5分間休憩したのちさらに15行の暗算作業を行う。毎分の加算個数の増減や全体の作業量の平均、曲線の型や誤りの量により分析を行うもので、これを2時間の刈取り作業の前後に実施し、刈取り作業による精神状態の変化を調べた。

III 測定結果及び考察

1. エネルギー代謝率

「自動」作業では前方への注意を軽減でき分草状態を監視する必要がないので、常に座位で作業をさせた。表2のようにRMRは1.2~1.7と低い値であり、これはほぼ中労働¹⁾に相当した。一方、「手動」作業においては、イグサを刈り取っているかどうかを確認する必要があるため、立ったり座ったりする人もあるがここでは常に立って作業させた。「手動」のRMRは1.8~2.1と「自動」

表2 エネルギー代謝率(RMR)測定結果

| 運転方法 | RMR(参考) |
|------|--------------|
| 「自動」 | 1.2~1.7(中労働) |
| 「手動」 | 1.8~2.1(中労働) |

のそれより高い値を示した。これは、ほぼ強労働¹⁾に近い値である。両作業の強さをRMRで比較すると0.4~0.6の差がある。この差は座位と立位の作業姿勢の影響によるものと考えられた。

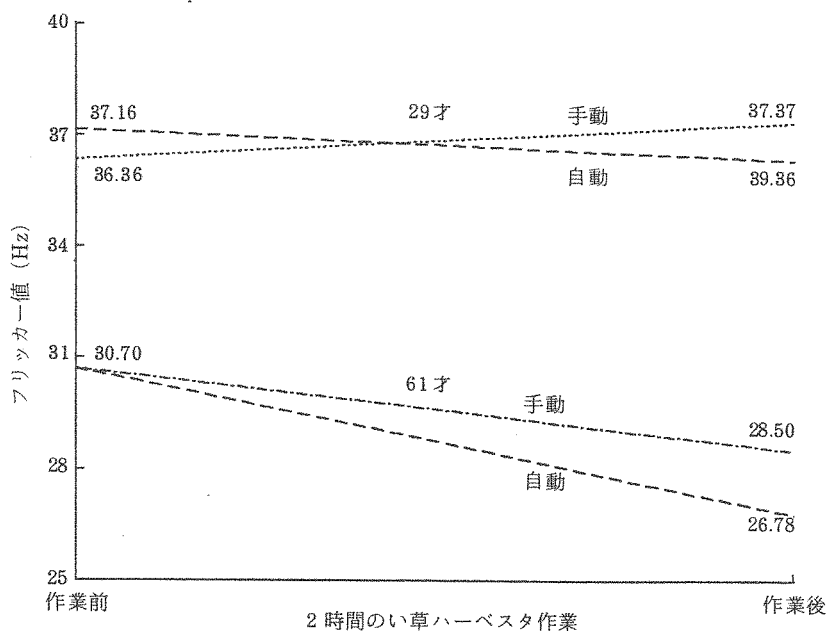


図4 2時間のハーベスタ作業前後のフリッカー値

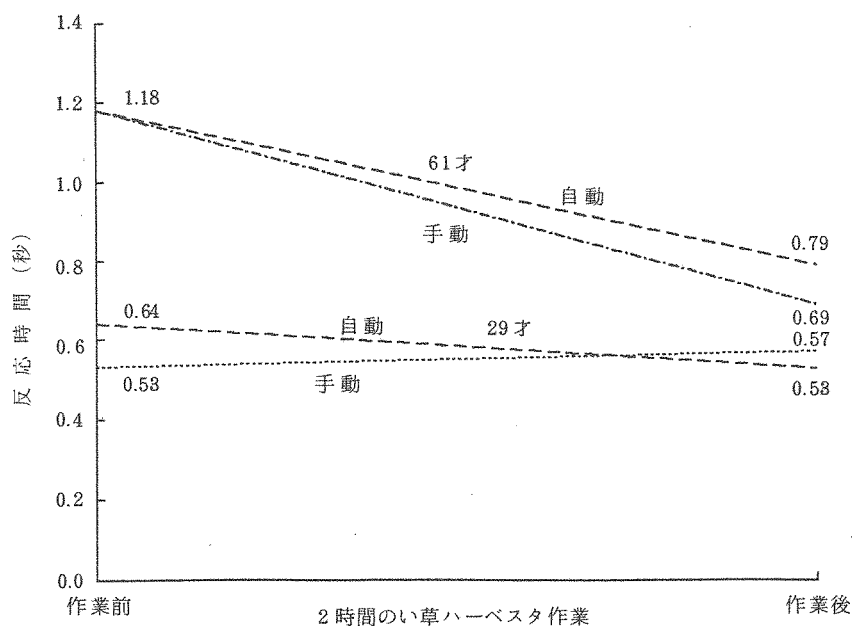


図5 2時間のハーベスタ作業前後の反応時間

2. フリッカー値測定

図4によると年齢による差があるように見えるが、両被験者において「自動」の方が収穫作業後フリッカー値が小さくなっている。29才の男性は「手動」または「自動」において、収穫作業前後に著しい変化はなかったが、61才の男性においては、逆転した結果がでた。この原因として、作業に対する慣れ、意志努力（緊張）の欠如、測定への順応効果などが考えられる。

3. 反応時間測定

2時間のハーベスタ作業の前後において、機種、年齢ごとに分析したところ反応時間は図5に示すようにやはり年齢の差が大きく認められた。29才の男性では「自動」において約0.11秒速くなり「手動」は約0.03秒遅くなっている。しかし61才の男性では「手動」および「自動」において収穫作業後速くなっており、特に「手動」がより速くなっている。このように測定結果からは収穫作業前後の傾向がはっきりとつかめなかった。その原因としては、測定時刻が早朝であったため覚醒の度合いが影響したこと、運転操作による緊張の助長、心的興奮などが考えられる。

4. クレペリンテスト

1) クレペリンテストの測定項目

クレペリンテストからは次のようなデータが得られる。

- ① 全平均加算作業量 A_v は前半15分と後半15分全部の平均であるから次式から求めた。

$$A_v = \frac{\text{前期作業量合計} + \text{後期作業量合計}}{30}$$

② 休憩効果率 R は、クレペリンテストにおける前半15分と後半15分との連続加算作業の平均値の比である。暗算作業の前半と後半との間に5分間の休憩を取ることになっており、休憩によって加算作業量がどのくらい快復向上するかを示すものである。単調な暗算の加算を連続15分もすれば嫌気もさすが、休憩を5分取ればまたやる気が快復するのが普通とされ、休憩効果率は1以上を一つの標準値としている。疲労が大きければ5分間の休憩ぐらいでは快復せず、後半の加算作業が伸びないものと考えられる。休憩効果率 R は次式によって表わされる。

$$R = \frac{\text{後期平均作業量}}{\text{前期平均作業量}}$$

この他に終期努力率、動揺率、初頭努力率は以下の式で求めた。

- ③ 終期努力率 T :

$$T = \frac{\text{後期残り2分間の作業量平均}}{\text{平均作業量}}$$

- ④ 動揺率 V :

$$V = \frac{\text{最大作業量} - \text{最小作業量}}{\text{平均作業量}}$$

- ⑤ 初頭努力率 S :

$$S = \frac{\text{前期最初の1分間の作業量}}{\text{全平均作業量}}$$

平均作業量は図6のように2時間の収穫作業の前後において、横ばいかやや減少している。休憩効果率は図7に示すようにかなり差が認められた。年齢による差、作業前後の差、また「手動」と「自動」との差が、よく表わされていると考えられる。すなわち高齢者の方が作業後、

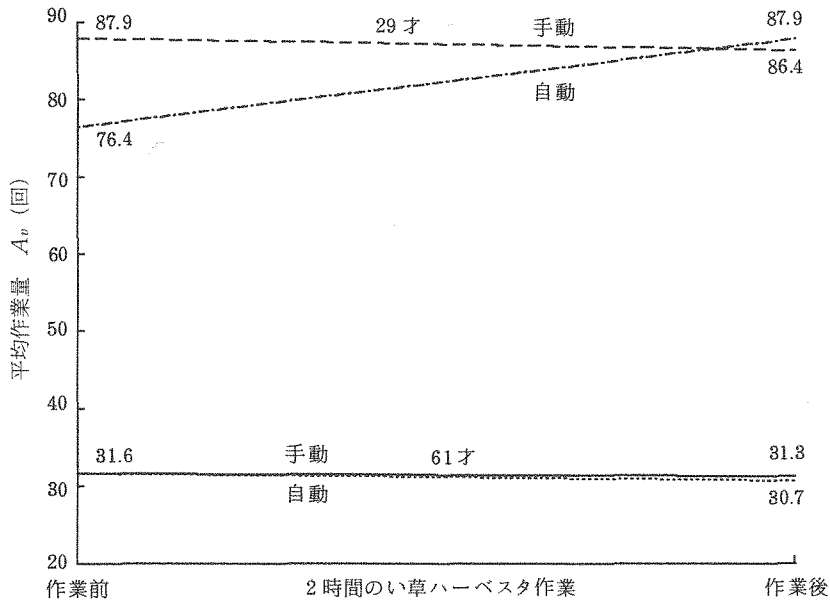
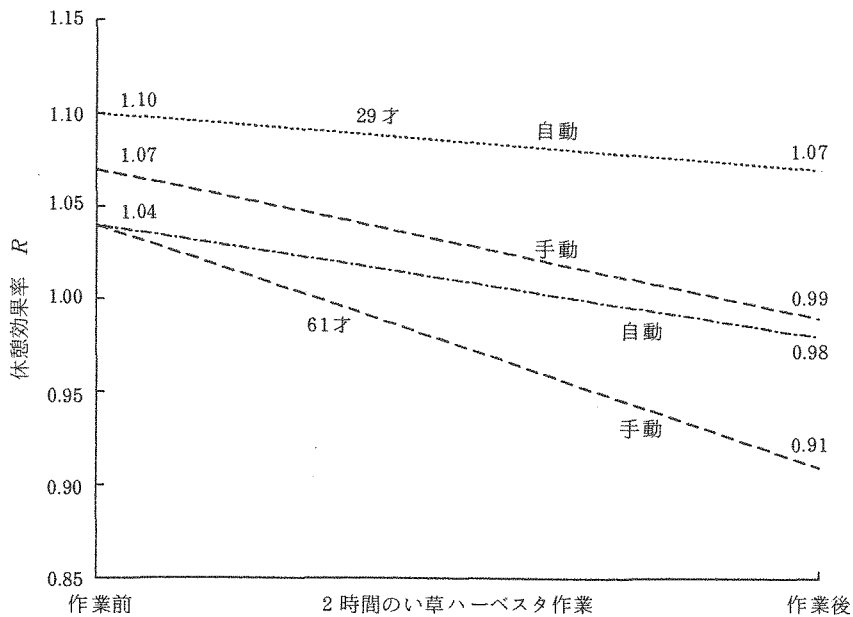


図6 2時間のハーベスタ作業前後のクレペリンテスト

図7 2時間のハーベスタ作業前後のクレペリンテスト
の休憩効果率 R

「手動」において快復が鈍いことがわかる。休憩効果率では、「自動」で0.03～0.06の低下、「手動」で0.11～0.13の低下を示した。初頭努力率は図8に示すように、年齢による差と制御操作の違いが見られる。ただし作業後の方が高いことが気になる。終期努力率は図9に示したように両被験者において、運転方法において同じ傾向が認められるが、明確な結果を得ることはで

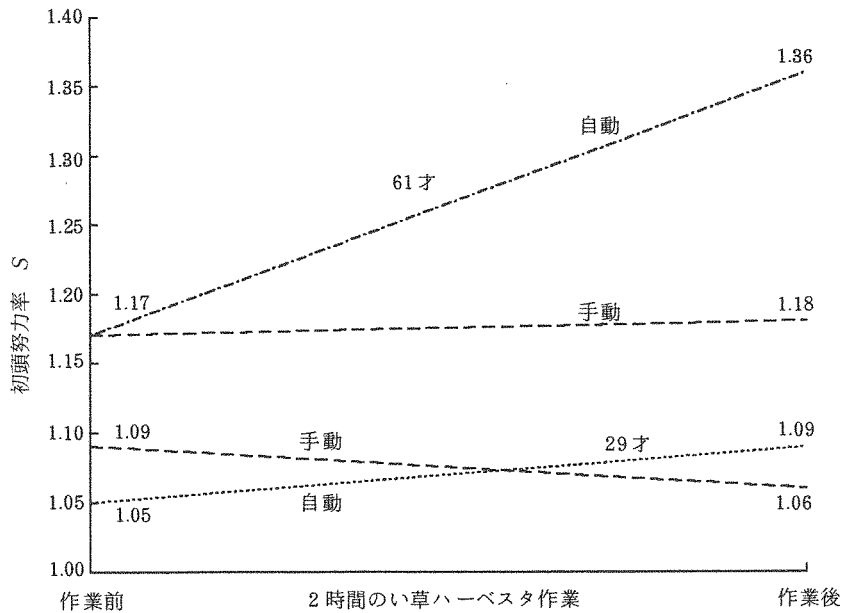


図8 2時間の作業前後のクレペリンテストの初頭努力率 S

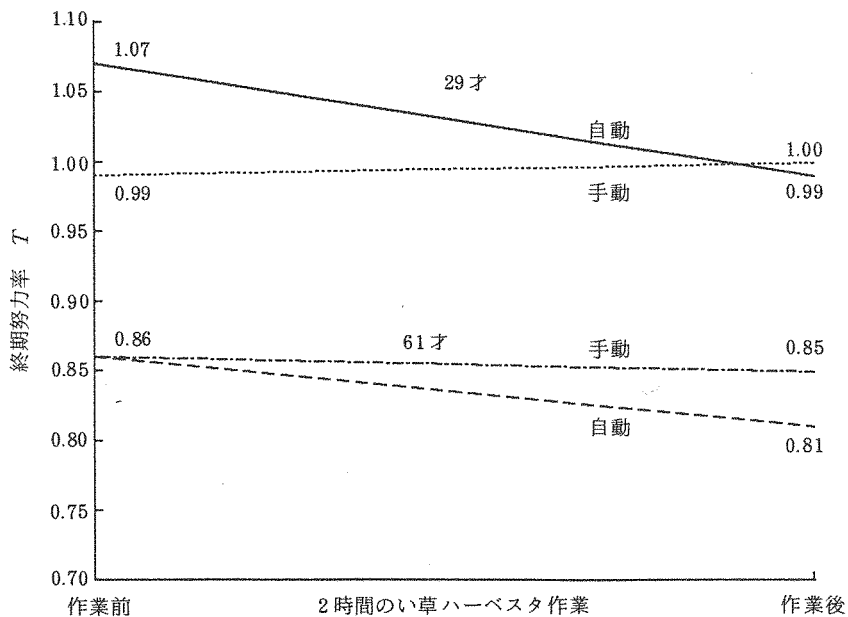


図9 2時間のハーベスタ作業前後のクレペリンテストの終期努力率 T

きない。

2) 精神疲労と休憩効果率について

クレペリンテストの休憩効果率 R で疲労の大小を表現する可能性が認められたので、休憩効果率の低下量がどのくらいの疲労に当たるのか、尺度を作るために、3人の被験者の協力を得

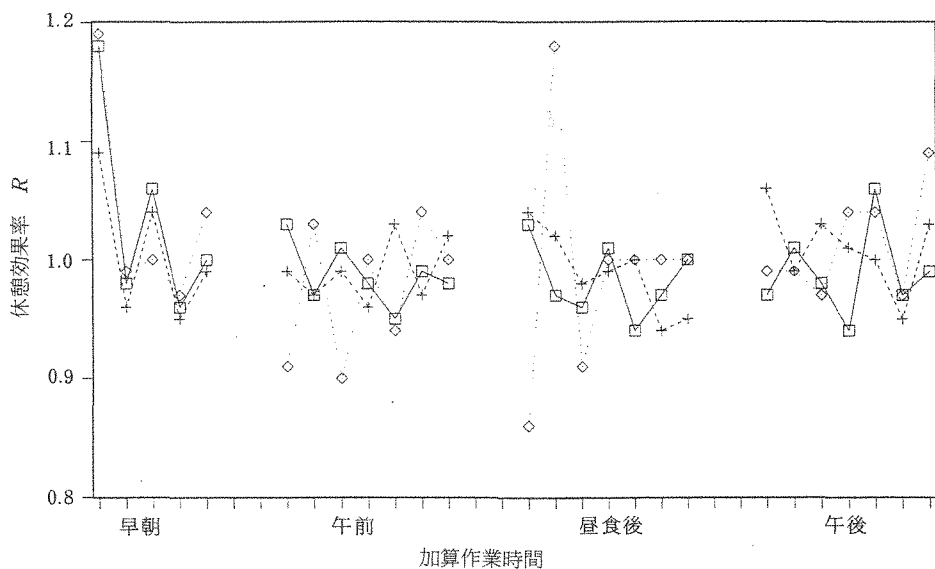


図10 終日クレペリンテストにおける休憩効果率の変化

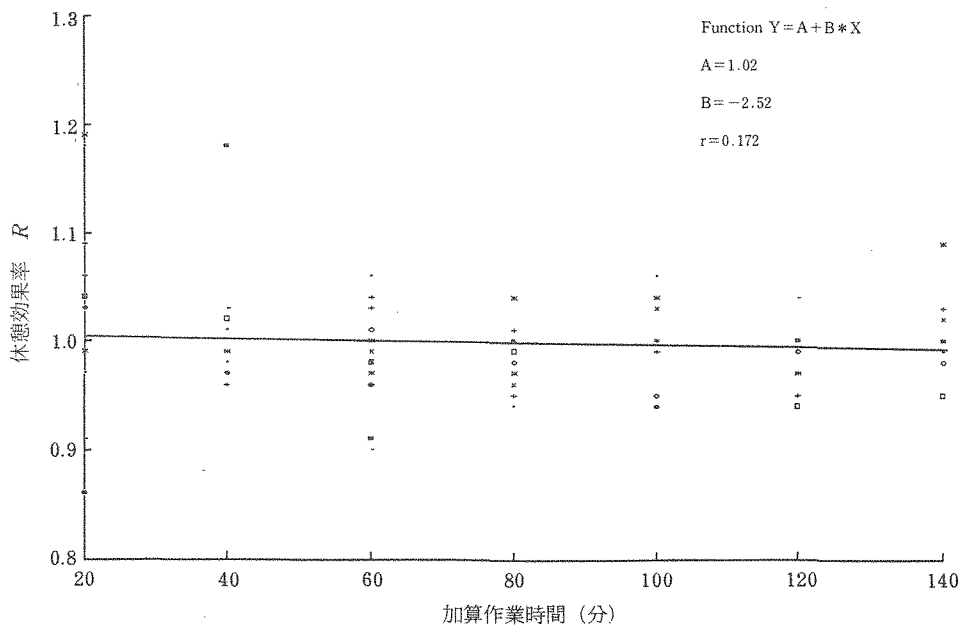


図11 140分連続クレペリンテストにおける休憩効果率の変化

て長時間にわたってクレペリンテストを実施した。すなわち、起床直後の早朝6時から夕方
の6時半まで、クレペリンテスト用紙を使って、連続暗算の加算作業を行なった。その休憩効果
率の変化を図10に示した。日中の3回の中断は朝昼の食事各1時間と午後の休憩35分である。
休憩効果率を連続して1以上に保つことは無理なことであるが、3回の中断直後はほぼ1を越
えている。

この結果から、起床後ないし大休止（1時間）を同じ条件と考えて起点とし、約2時間半の間の休憩効果率を重ねて図示（図11）してみると、図7の2時間の「自動」連続運転による休憩効果率低下の中間値0.045は約220分の加算作業に匹敵し、「手動」運転による低下の中間値0.12は約580分の加算作業に匹敵すると読むことができた。すなわち自動制御よりも手動制御で運転した場合疲れが増加したことになる

5. 考 察

「自動」作業は手放し運転ができるので「手動」作業より労働の強さRMRが小さくなっている。クレペリンテストの休憩効果率でも2時間の収穫作業後の疲労は「自動」の方が小さいと判定された。

測定項目についてみれば、反応時間やフリッカー値、クレペリンテストの作業量などには明確な説明ができない点があった。これらは2時間にもわたるイグサ刈取りの前後の比較であるため、早朝で目覚めの悪かったことや、作業による精神的高揚が表われているものと考えられる。これに対し休憩効果率が疲労の指標として良いと考えられるのは、早朝なら早朝なりに、作業後は作業後なりにあまり心身の変化が起こらない約35分間をはさんだ比の比較であるからであろう。

IV 摘 要

自動操向制御によってイグサ収穫が座ったままの姿勢で可能となった。その案になった度合をなんらかの数値で表そうとした。ファジィ操向制御を有するイグサハーベスタを供試し、従来の手動運転のイグサハーベスタに比べ、どれだけ疲労が軽減できたかをクレペリンテスト、フリッカー値、反応時間、エネルギー代謝率（RMR）によって測定し、以下のような結果を得た。

1. 労働の強さはRMRによって表した。手動運転では立位作業であり自動操向制御は座位であったので、作業姿勢の違いによる差が出て自動操向作業の方が作業強度は小さかった。
2. フリッカー値測定、反応時間測定では作業者の疲労軽減の差を明確につかむことができなかった。
3. クレペリンテストで得られる休憩効果率は収穫作業の前後、老若の差について明確に表現できたので、疲労の指標として有効であると考えられる。両作業の種類については自動操向作業の方が疲労が少ないと判定できた。

参 考 文 献

- 1) 沼尻幸吉（1966）：「労働の強さと適正作業量」，財団法人労働科学研究所
- 2) 外岡豊彦（1973）：「内田クレペリン精神作業検査・基礎テキスト」，（株）日本・精神技術研究所，P.18-25.
- 3) 藤木徳実・田中栄三郎・松尾隆明：「バインダのクラッチ自動化による省力効果ならびに疲労の判定方法について」農業機械学会誌第38巻第3号，p.443-445.